

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 11135297
PUBLICATION DATE : 21-05-99

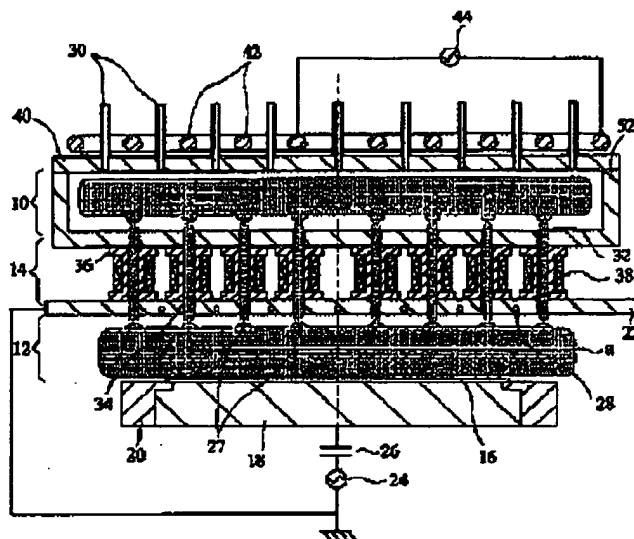
APPLICATION DATE : 31-10-97
APPLICATION NUMBER : 09301305

APPLICANT : KUMAGAI HIROMI;

INVENTOR : KONO HIROKO;

INT.CL. : H05H 1/46 C23C 16/50 C23F 4/00
H01L 21/205 H01L 21/3085 H01L 21/31

TITLE : PLASMA GENERATOR



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a plasma generator in which plasma seeds are efficiently transferred from a plasma generating region to a plasma treating region and gas is prevented from being sent back to the plasma generating region.

SOLUTION: This plasma generator has a plasma generating region 10, a plasma treating region 12 and plasma transferring region 14 separately in its vacuum chamber. The plasma transferring region 14 which is secured as a gas passage to lead plasma generated in the plasma generating region to the plasma treating region comprises plural partial transferring regions 34 divided each other to combine the plasma generating region 10 and the plasma treating region 12, and is composed of a tube member 36 of a cylindrical barrier extending rectilinearly. In order to form a magnetic field inside the each partial transferring region, a plasma transferring coil 38 comprising coils provided around an outer wall of the tube member is equipped. The magnetic field formed in the plasma transferring region by these coils transfers plasma seeds from the plasma generating region to the plasma treating region.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-135297

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月21日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

L

C 2 3 C 16/50

C 2 3 C 16/50

C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

D

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

21/31

C

21/3065

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平9-301305

(22) 出願日

平成9年(1997)10月31日

(71) 出願人 597154265

熊谷 浩洋

東京都品川区北品川5丁目19番6号

(72) 発明者 河野 宏子

東京都品川区北品川5丁目19番6号

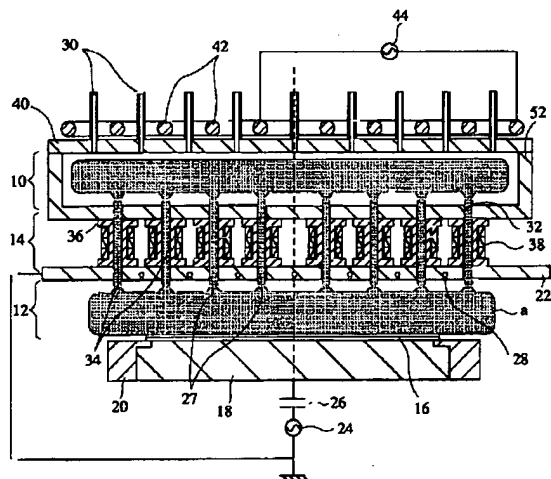
(74) 代理人 弁理士 大垣 孝

(54) 【発明の名称】 プラズマ発生器

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 プラズマ発生領域からプラズマ処理領域へプラズマ種を効率よく移送し、しかもガスのプラズマ発生領域への逆送を防止するプラズマ発生器を提供する。

【解決手段】 プラズマ発生器は真空チャンバ内にプラズマ発生領域10、プラズマ処理領域12及びプラズマ移送領域14が画成されている。プラズマ発生領域で発生したプラズマをプラズマ処理領域に導くためのガス経路として確保されたプラズマ移送領域14は、プラズマ発生領域とプラズマ処理領域間を結合する複数の互いに分離された部分移送領域34であり、それは直線的に延在する円筒形状隔壁である管状部材36で構成される。また各部分移送領域の内部に磁場を形成するため、管状部材の外壁周囲に設けられたコイルから成るプラズマ移送コイル38を備えている。これらのコイルによりプラズマ移送領域内に形成された磁場が、プラズマ発生領域からプラズマ処理領域へとプラズマ種を移送する。



- | | | |
|------------------|----------------|-----------------|
| 10: プラズマ発生領域 | 12: プラズマ処理領域 | 14: プラズマ移送領域 |
| 16: 被処理物 | 18: カソード | 20: プロテクタ |
| 22: アノード | 24: 第1高周波電源 | 26: ブロッキングコンデンサ |
| 27: 導入孔 | 28: プロセス用ガス供給孔 | |
| 30: プラズマ発生用ガス導入孔 | 32: 移送孔 | |
| 34: 部分移送領域 | 36: 管状部材 | 38: プラズマ移送コイル |
| 40: チャンバ蓋 | 42: プラズマ発生コイル | 44: 第2高周波電源 |
| 52: プラズマ発生チャンバ | | |

プラズマ発生器の構成

【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ発生領域でプラズマを生成し、該プラズマをプラズマ移送領域を経てプラズマ処理領域に導き、所定のプラズマ処理を行うプラズマ発生器であって、

前記プラズマ移送領域は、前記プラズマ発生領域と前記プラズマ処理領域との間を連通する複数の互いに分離された部分移送領域として画成してあり、各前記部分移送領域の内部に磁場を形成するための磁気回路を具えていることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項2】 請求項1に記載のプラズマ発生器において、

前記磁気回路により形成される磁場が前記プラズマ発生領域および前記プラズマ処理領域に漏洩するようにし、かつ前記磁場が前記プラズマ発生領域および前記プラズマ処理領域で発散するようにしてあることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項3】 請求項2に記載のプラズマ発生器において、

前記磁気回路は、各前記部分移送領域の周囲に設けられた単数または複数のコイルで構成してあることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項4】 請求項3に記載のプラズマ発生器において、

前記コイルの代わりに永久磁石を用いていることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項5】 請求項3に記載のプラズマ発生器において、

前記部分移送領域は直線的に延在する管状部材の内部領域であり、

該管状部材の外壁を取り巻くように、該管状部材の延在方向に沿って順次に所定数の前記コイルを設けてあることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項6】 請求項5に記載のプラズマ発生器において、

前記コイルのコイル径を、前記プラズマ発生領域および前記プラズマ処理領域の側に近づくに従い、徐々に大きくしてあることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項7】 請求項5に記載のプラズマ発生器において、

前記コイルのコイル電流を、前記プラズマ発生領域および前記プラズマ処理領域の側に近づくに従い、徐々に小さくしてあることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項8】 請求項5に記載のプラズマ発生器において、

前記コイルの周りに、磁気シールドとしての高透磁率材を設けてあることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項9】 請求項8に記載のプラズマ発生器において、

前記高透磁率材としてミュウメタルを用いていることを

特徴とするプラズマ発生器。

【請求項10】 請求項5に記載のプラズマ発生器において、

前記管状部材の管径を、該管状部材の一部から該管状部材の各端部にわたり、該管状部材の延在方向に沿って、徐々に大きくしてあることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項11】 請求項5に記載のプラズマ発生器において、

前記管状部材に設けられたコイルの外側を取り巻くように、別のコイルを設けて2重コイル構造とし、これらコイルを個別に駆動制御することを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項12】 請求項11に記載のプラズマ発生器において、

前記2重コイル構造を構成する一方のコイルに流すコイル電流の大きさが、時間的に変動するように、該コイルの駆動制御を行うことを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項13】 請求項5に記載のプラズマ発生器において、

各前記部分移送領域の配置が同心状となるようにし、各前記部分移送領域に設けられたコイルのコイル電流を、実質的に同一軸状に配置された部分移送領域ごとに制御することを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項14】 請求項5に記載のプラズマ発生器において、

隣接する前記部分移送領域に設けられたコイルにより形成される磁場の向きが互いに逆向きとなるように、各前記コイルのコイル電流を制御することを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項15】 請求項1に記載のプラズマ発生器において、

プラズマの発生および強化に寄与する高周波の電磁界を前記プラズマ処理領域に印加するための第1印加回路と、

プラズマの発生および強化に寄与する高周波の電磁界を前記プラズマ発生領域に印加するための第2印加回路とを具えることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項16】 請求項1に記載のプラズマ発生器において、

前記プラズマ発生領域にプラズマ発生ガスを導入する手段を具え、

前記プラズマ処理領域にプロセスガスを導入する手段および被処理物を支持する手段を具えることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項17】 請求項1に記載のプラズマ発生器において、

前記プラズマ処理領域に高周波の電磁界を印加するためのアノードおよびカソードを具えており、

前記プラズマ移送領域との連通のための導入孔が形成さ

れた前記アノードは、前記プラズマ移送領域と前記プラズマ処理領域との間に設けてあり、

前記カソードは前記プラズマ処理領域に設けてあることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項18】 請求項3に記載のプラズマ発生器において、

前記磁気回路を構成するコイルに流す電流により、所定のプロセス結果を達成するために分布が均一となるように、前記プラズマ処理領域内のプラズマを制御することを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項19】 請求項17に記載のプラズマ発生器において、

前記導入孔は、前記磁場の発散に合わせて、前記プラズマ処理領域の側の開口が広がるような末広がり形状としてあることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項20】 請求項16に記載のプラズマ発生器において、

前記プラズマ発生領域にプロセスガスを導入する手段を具えることを特徴とするプラズマ発生器。

【請求項21】 請求項1に記載のプラズマ発生器において、

前記プラズマ発生領域と前記各部分移送領域との結合部分における当該プラズマ発生領域を囲むチャンバ壁に、前記プラズマ移送領域との連通のための移送孔が形成されており、

前記移送孔は、前記磁場の発散に合わせて、前記プラズマ発生領域の側の開口が広がるような末広がり形状としてあることを特徴とするプラズマ発生器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、高精細な半導体素子や液晶用駆動素子等の製造に用いて好適なプラズマ発生器に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子を製造する際の微細回路パターンの形成に当たり、CVD、エッチング、アッシング等のプラズマプロセス処理が多用される。例えば、この処理を実現する代表的な装置として、平行平板型プラズマ発生器がある。また、磁場による電子のサイクロイド運動を利用するMRIE（マグネトロンリアクティブイオンエッチャー）、平面型コイルを用いた誘導結合型プラズマ（TCP：トランスファーカップルドプラズマ）発生器（文献1「特開平3-79025」）、ECR（電子サイクロトロン共鳴）プラズマ発生器（文献2「特開平4-290428」）、ICP（インダクティブカップルドプラズマ）、およびSWP（サーフウェーブプラズマ）がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の各プラズマ発生器には以下に記載される種々の問題があ

る。以下、各プラズマ発生器につき、順次に説明する。

【0004】先ず、平行平板型プラズマ発生器では、対向する電極間に高周波の交流電界を印加することでプラズマを発生させる。しかし、半導体素子の回路パターンが微細化されるに従いプロセス処理圧力を低く（すなわち処理室内の真空度を高く）しなければならないので、高密度プラズマを形成することが困難になってきている。

【0005】この対策として、プラズマに磁界を加えることでプラズマ密度の改善を図るMRIEが開発された。このMRIEでは、磁場による電子のサイクロトロン運動を利用して、電子を磁場で拘束する。このようにして、電子の拡散を抑える。この結果、ほぼ平行平板型プラズマ発生器と同形態でありながら、プラズマ密度を高めることが可能となる。

【0006】しかし、このMRIEでは、さらにプラズマ密度を高めようとして磁場を強くし過ぎると、プラズマ密度の片寄りが大きくなり、大きなプラズマ電位差が発生してしまう。すると、半導体素子等の基板である被処理表面上の各位置で電位に差が生じてしまう。このため、半導体素子等の一部が絶縁破壊し、生産歩留りを大幅に引き下げてしまう。

【0007】一方、文献1に開示されているTCPは、外部磁界を用いずにプラズマ密度を向上させる方式である。このプラズマ発生器で得られる高密度プラズマ（HDP）は、イオンが大量に引き出せ、しかも、カソード部に発生するシース電圧を低くすることができるので、被処理物にダメージを与えにくいという利点がある。

【0008】しかし、文献1に開示の技術の場合、従来の平行平板型プラズマ発生器とは異なり、被処理物のプロセス処理に重要な働きをするもう一つの機能が備わっていない。すなわち、被処理物とプロセスガスとの反応を促進させるためのイオンエネルギーをプラズマに与えにくいという第1の欠点がある。高密度プラズマでは、外部からバイアス電位をかけることにより、イオン電流を増やすことができる。しかし、イオン電流は増えるが、イオン一個一個の持つエネルギーは大きくならないのである。つまり、外部バイアスパワーは、イオンの数を増やすことに消費されてしまい、イオンの加速にはあまり役立たない。

【0009】さらに、以下のような第2の欠点がある。TCPのプラズマ発生メカニズムによれば、プラズマ内に外部コイル電流により生じた誘導電流がコイル電流自身の発する磁界に拘束され、スキンドープと呼ばれる厚さ（約2cm）の領域内に閉じ込められる。このため、高密度の電流の流れが形成される。この高密度電流は、プラズマをオーミック加熱して、多量の熱電子を生み出す。また、この熱電子は、周囲のガスを電離して高密度プラズマを生み出す。この加熱された電子のエネルギー分布を図9に示す。

【0010】図9は、電子のエネルギー分布を示すグラフ

である。グラフの横軸に電子エネルギーを[eV]単位で取り、グラフの縦軸に電子密度 f (eV)を[1/単位体積]単位で取って示す。加熱された電子のエネルギー分布は、図中の曲線aで示される。図中の曲線bはさらに平均電子温度が大きい場合のエネルギー分布であって、比較参考例として挙げてある。曲線aおよびbで示すエネルギー分布は通常のマクスエル分布である。一般に、曲線aで示す電子密度は、 $10^{12} \sim 10^{13}$ [1/cm³]以上となり、従来の平行平板型プラズマ発生器における電子密度に比べて3~4桁大きい。

【0011】曲線aにおいて、エネルギーE0が平均電子温度に相当する。また、平均電子温度E0よりも高いエネルギーE1と、さらにこのエネルギーE1よりも高いエネルギーE2との間がラジカル形成領域(このエネルギー領域に属する電子によりラジカルが形成される。)に相当する。例えば、プロセスガスがAr(アルゴン)の場合には、エネルギーE2がArの電離エネルギーに相当する。

【0012】従って、プロセスガス中の電離エネルギー以上のエネルギーを持つ電子はガスの電離に寄与し、それより少し小さなエネルギーを持つ電子はラジカルを形成する。図9に示すように、高密度のプラズマを作るための電子を得るということは、同時に、それよりも大量のラジカルを作るための電子を発生させるということである。ゆえに、イオンを増やすためにコイルの電流を増やすと、電離エネルギー以上の電子は増えるが、その増加分よりも遥かに多くの「ラジカルを作るための電子」も生み出してしまう。

【0013】特に、このラジカルは、元々不安定なものである。ラジカルは、このラジカル形成のためのエネルギーよりも小さなエネルギーを持つ電子と衝突して、容易に分解(この現象をクラッキングと呼ぶ。)または重合してしまう。このクラッキングあるいは重合現象のために、プロセス処理時に必要なエッチャントまたはプレカーサが分解または重合して減少するだけでなく、プロセス処理を妨げる物質に変化してしまう。従って、半導体素子処理時の最適条件から大幅にずれが生じ、プロセス不安定のために歩留り低下が起きる。

【0014】これに対して、高磁場を用いた高密度プラズマ発生器であるECRでは、プラズマ発生領域(高密度プラズマを発生させる領域)とプラズマ処理領域(形成されたイオンとラジカルとを用いて被処理物のプロセス処理を行う領域)とが空間的に分離されている。そして、強力な磁力下で高密度プラズマを発生させ、プラズマ発生領域で発生させたプラズマを、その磁力線に沿ってプラズマ処理領域に輸送する。このタイプのプラズマ発生器では、磁場の均一性がプラズマの均一性を決めるため、大口径で均一なプラズマが得られにくいという欠点がある。

【0015】さらに、このECRは、動作時のガス圧力を0.1Pa(パスカル)よりも十分小さくしなければ、

プラズマ発生効率が良くならない。また、被加工物の大きさに対応する均一なプラズマ分布が得られないので、下記のプロセス処理条件と相いれないという問題がある。すなわち、一般に、エッチングのプロセス処理性能が良いと期待されるガス圧力範囲は、これより1桁から2桁高い1~10Paの圧力である。CVDでは、これよりもさらに高い圧力領域でプロセス処理性能が良くなる。元来、プラズマ処理プロセスとは、プラズマで励起されたプロセスガスの化学的励起物質(ラジカルまたはプレカーサ)を被処理物の表面に付着させ、その付着物がプラズマ中のイオンで叩かれてエネルギーを得て、被処理物と反応して成膜させたり、エッチングさせたりする現象である。よって、CVDでは、エッチングではなく、堆積が起こるのである。

【0016】ゆえに、プラズマプロセス処理では、被処理物の表面上に飛来するラジカルとイオンとの密度の比率を最適に制御できるかどうかということが、プロセス効率改善の重要な鍵となる。例えば、エッチング処理について、図10を参照して説明する。図10は、ラジカル密度とイオン密度との比(ラジカル密度/イオン密度)に対するエッチングレート(エッチング速度)の変化を示すグラフである。横軸にラジカル密度とイオン密度との比を任意単位で取り、縦軸にエッチングレートを任意単位で取って示す。図中の曲線aにより、エッチングレートの振る舞いが示される。曲線aによれば、ラジカル密度とイオン密度との比が小さ過ぎても大き過ぎてもエッチングレートは小さくなる。エッチングレートは、適当なラジカル密度とイオン密度との比のところで最大となる。図中に示すb領域が最適領域である。

【0017】尚、図10には、従来の各タイプのプラズマ発生器の動作領域を示してある。ECRおよびTCPでは、ラジカル密度とイオン密度との比が比較的低いところ(それぞれc領域およびd領域)になる。また、MERIおよび平行平板型プラズマ発生器では、ラジカル密度とイオン密度との比が比較的高いところ(それぞれe領域およびf領域)になる。上述の最適領域bはd領域とe領域との間に位置しており、このb領域で最もエッチングレートが高くなる。この最適領域bに最も近いものは、動作領域がd領域に属するTCPである(d領域が上述した高密度プラズマ(HDP)に相当している。)。次に、TCPの問題点につき、さらに詳細に説明する。

【0018】上述したように、TCPでは、コイルに流す電流によりプラズマ内に誘導電流が誘起される。この誘導電流はスキンドープスの範囲内に拘束される。この誘導電流によりプラズマが抵抗加熱(オーミックヒーティング)されて、高密度プラズマが形成される。このオーミックヒーティングされたプラズマ中の電子の密度分布は、電子エネルギーに対してマクスエル分布となる(図9参照)。この電子のうち、周辺ガスの電離エネルギー以

上の高速電子が高密度プラズマを発生させる。

【0019】また、イオン化に役立たない低速電子は、プロセスガスを分解し、プロセス処理に役立つラジカルおよびプレカーサを形成する。しかし、この低速電子が多過ぎると、ラジカルおよびプレカーサを再び分解（クラッキング）または重合して、プロセス処理に役立たないラジカルおよびプレカーサ、あるいはプロセス処理を阻害するラジカルおよびプレカーサを多数発生させてしまう。

【0020】この原因は、イオンとラジカル（あるいはプレカーサ）との形成が一の手段で生み出される電子により作り出されるため、イオンとラジカルとの生成条件が両立する最適なプロセス条件がなかなか実現できないためである。イオンとラジカル（あるいはプレカーサ）とが独立に制御できれば、最適なエッチング（あるいは成膜）が行える。尚、ICPも、コイルの形は異なるが、TCPとはほぼ同じ動作である。

【0021】次に、ECRタイプにつき説明する。ECRでは、形成されるプラズマ内の電子が磁場で決まる回転周波数で運動する。この回転周波数と同一の周波数のマイクロ波を外から供給すると、共鳴を起こして周囲のガスを電離して、高密度プラズマを生み出す。一般的に、この共鳴ガス圧力条件は非常に低いので、プロセスガスの平均自由行程は長くなり、プロセスチャンバ内のガスは自由に飛び回る。このため、TCPと同様に、プロセスガスの分解または重合はこの共鳴領域をプロセスガスが通り過ぎる度に起こり、その結果、プロセス処理を阻害する物質を多数発生させてしまう。元々、ECRは動作圧力が非常に低いのでプロセスガスの量は少なくて済む。従って、TCPやICPに比べて阻害物質の発生は少なくできるが、発生確率という点では問題が残る。

【0022】以上の例と全く異なるプラズマ発生源であるSWPは、磁場を用いず圧力領域も上述の最適領域で動作するという点で問題がない。しかし、イオンの形成とラジカルの形成とが同一手段で行われるため、やはりエッチングに最適なイオンおよびラジカル比を実現できない。

【0023】いずれにしても、これら従来タイプのプラズマ発生器は、プラズマプロセス処理に最適と考えられる圧力領域では、プロセスガスの平均自由行程が比較的長い。従って、プラズマプロセス処理領域が離れたところにあったとしても、プロセスガスがプラズマ発生領域にまで飛んで行き、クラッキングまたは重合を繰り返して、多くのプロセス処理阻害物質を生み出してしまふ。このように、プロセスガスがプラズマ発生領域を通過するたびにガス分解あるいは重合を急速に起こすため、プロセス処理阻害物質の発生が抑えられず、最適なプロセス条件が実現されない。

【0024】従って、プラズマ発生領域とプラズマ処理

領域との間を分離する必要がある。例えば、プラズマ発生領域とプラズマ処理領域との間に、プロセスガスの移送を阻止するバッフル板等を用いるのも一つの方法である。これにより、高密度プラズマ発生領域とプラズマ処理領域とを分離することができる。しかし、この方法によれば、プロセスガスの発生領域への拡散を減らすことができるが、プラズマ発生領域からプラズマ処理領域へのプラズマ輸送量が急速に減ってしまう。従って、プラズマ処理領域のプラズマ密度が大幅に低減し、イオンおよびラジカル比の適正化効果が現れない。

【0025】従来、この課題を解決する例として、ECRのようなプラズマ発生用磁場内にバッフル板を設置したものがある。この場合、プラズマ発生領域から被処理物の位置まで、磁力線がほとんど発散しない磁場によりプラズマの移送がなされる。しかし、バッフル板の孔を通過したプラズマは発散しないので、孔の形状が維持されたまま被処理物表面上までプラズマが輸送される。このため、バッフル板のパターンが被処理物に転写される形になり、均一なプロセス処理結果が得られない。

【0026】以上説明したように、プラズマのプラズマ処理領域への効率の良い移送と、プラズマ処理領域からプラズマ発生領域へのプロセスガスの流入阻止が可能なプラズマ移送路の構造とを工夫することが課題となる。しかも、プラズマ処理領域では高いプラズマ密度を維持し、かつ、イオンとラジカルとの最適比率が任意に設定できる機構でなければならない。

【0027】従って、従来より、プラズマ発生領域からプラズマ処理領域へのプラズマ種の移送を効率良く行い、しかも、プロセスガスのプラズマ発生領域への逆送を防止するプラズマ発生器の出現が望まれていた。

【0028】

【課題を解決するための手段】この発明は、上述の課題を解決するためになされたものであり、プラズマ処理領域でのイオン密度の制御性、高密度プラズマの均一性、およびイオンとラジカルとの成分比率の最適化を実現するものである。また、プラズマガスがプラズマ処理領域からプラズマ発生領域へ逆送されることを防止して、プロセス処理に最適なプラズマを形成するプラズマ発生器を提供する。

【0029】そこで、この発明のプラズマ発生器によれば、プラズマ発生領域でプラズマを生成し、このプラズマをプラズマ移送領域を経てプラズマ処理領域に導き、所定のプラズマ処理を行うプラズマ発生器であって、プラズマ移送領域は、プラズマ発生領域とプラズマ処理領域との間を連通する複数の互いに分離された部分移送領域として画成してあり、各部分移送領域の内部に磁場を形成するための磁気回路を具備していることを特徴とする。

【0030】このように、プラズマ発生領域とプラズマ処理領域とをプラズマ移送領域すなわち複数の部分移送

領域により結合する。従って、プラズマ発生領域で発生したプラズマは、プラズマ処理領域へ輸送されるに当たり、部分移送領域の各々を通過する。各部分移送領域内には磁気回路により磁場が形成されており、この磁場がプラズマの輸送に寄与する。そして、部分移送領域のサイズを適当に設計すれば、例えば、エネルギーの比較的高いプラズマ（電子）をプラズマ処理領域へと輸送し、エネルギーの比較的低い電子はプラズマ処理領域へ輸送しないようにすることさえできる。このようにできるのは、いわゆるミラー効果（あるいはピンチ効果）による。よって、磁気回路により発生させる磁場の強さ、および部分移送領域のサイズの設定により、プラズマ処理領域へ輸送させる電子をそのエネルギーに応じて選択することができる。従って、プラズマ処理に有用なラジカルを形成する電子が主としてプラズマ処理領域に導かれるようにし、プラズマ処理を阻害するラジカルを形成する電子はプラズマ処理領域に輸送されないようにすることができる。

【0031】また、プラズマ発生領域とプラズマ処理領域とが複数の部分移送領域により結合されるという構成であるから、プラズマ発生領域およびプラズマ処理領域の各有効断面積に比べてプラズマ移送領域の有効断面積は小さくなる。従って、プラズマ処理領域からプラズマ発生領域へと逆送するプロセスガスの量が小さく抑えられる。従って、プラズマ発生領域へのプロセスガスの流入が少なくできるので、プラズマ処理を阻害する物質の発生が低減される。

【0032】このように、この発明によれば、プラズマ処理領域におけるイオン密度とラジカル密度との比を最適化制御することができる。しかも、プラズマ発生領域では、他の領域に対して独立に、高密度でほぼ均一なプラズマが作られる。

【0033】尚、プラズマ発生領域にプラズマを発生させる手段は、高密度プラズマが実現できるものを用いれば何でもよい（例えば、TCP、ICP、ECR等のプラズマ発生機構を利用してもよい。）。

【0034】この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、磁気回路により形成される磁場がプラズマ発生領域およびプラズマ処理領域に漏洩するようにし、かつ磁場がプラズマ発生領域およびプラズマ処理領域で発散するようにしてあるのが良い。

【0035】このように構成してあるので、プラズマ移送領域から湧き出る磁力線は、プラズマ発生領域においてラッパ状に広がる分布をなす。従って、プラズマ発生領域内のプラズマの発生に寄与する電子は、プラズマ移送領域内にトラップされやくなる。そして、プラズマ発生領域内のプラズマ（電子）は、磁気回路からプラズマ発生領域へ湧き出る磁力線にトラップされ、その磁力線に沿ってプラズマ処理領域へ輸送される。また、この電子に引き摺られるようにして、プラズマ発生領域内のイ

オンもプラズマ処理領域へと移送される。このように、プラズマ発生領域内のプラズマが効率良くプラズマ移送領域に引き込まれる。

【0036】また、プラズマ移送領域からプラズマ処理領域の側に湧き出る磁力線も同様にラッパ状に広がる分布をなす。従って、プラズマ移送領域を通過した電子は、プラズマ処理領域において急速に拡散する。従って、プラズマ処理領域内に設置された被処理物の位置でプラズマ密度が均一になるようにできる。

【0037】また、この磁気回路により発生する磁場は、プラズマ移送領域を画成している隔壁にプラズマ（電子）が接触してしまうことを防止できる。従って、高効率でプラズマをプラズマ発生領域からプラズマ処理領域に移送することができる。

【0038】また、この発明のプラズマ発生器の構成例によれば、磁気回路は、各部分移送領域の周囲に設けられた単数または複数のコイルで構成してあるのが好適である。コイルとしては、直流励磁コイルでも交流励磁コイルでもどちらでもよい。また、これらを組み合わせて用いてもよい。例えば、コイルの設置は、ミラー磁場あるいはカスプ磁場が形成されるように構成するのが好適である。上述したイオンおよびラジカル比の制御は、コイル電流を制御することにより達成できるので、この点、コイルは優れている。

【0039】また、コイルの代わりに永久磁石を用いても良い。永久磁石を用いると、イオンおよびラジカル比の制御性は多少低くしてしまうが、永久磁石は経済的に安いので、その点有利である。尚、例えば、磁気回路の全てを永久磁石により構成するのではなく、上述したコイルと組み合わせて用いてもよい。

【0040】また、この発明のプラズマ発生器において、部分移送領域は直線的に延在する管状部材の内部領域であり、この管状部材の外壁を取り巻くように、この管状部材の延在方向に沿って順次に所定数のコイルを設けてあるのが良い。

【0041】このようにコイルを設置すると、プラズマ発生領域からプラズマ処理領域へと磁力線が延在するような磁場を形成できる。従って、プラズマ発生領域からプラズマ処理領域へのプラズマの移送に好適である。

【0042】さらに、コイルのコイル径を、プラズマ発生領域およびプラズマ処理領域の側に近づくに従い、徐々に大きくしてあるのが良い。このように構成すると、上述したラッパ状の磁力線分布を実現するのに好適である。

【0043】尚、ラッパ状の磁力線分布を実現するには、例えば、コイルのコイル電流を、プラズマ発生領域およびプラズマ処理領域の側に近づくに従い、徐々に小さくしても良い。また、コイルの周りに、磁気シールドとしての高透磁率材を設けても実現することができる。

【0044】このとき、高透磁率材としてミューメタル

を用いるのが好適である。ミューメタルとは、パーマロイやスーパーパーマロイなどを含む高透磁率材料の総称である。また、上述の高透磁率材として、鉄やニッケルやフェライトなどを用いるのも好適である。

【0045】次に、この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、管状部材の管径を、この管状部材の一部からこの管状部材の各端部にわたり、この管状部材の延在方向に沿って、徐々に大きくしてあるのが良い。

【0046】従って、管状部材は、その延在方向に沿って両端がラッパ状に広がるような形状となる。このように管状部材の形状を工夫すると、プラズマ発生領域との結合部分におけるプラズマ移送領域の有効断面積を大きくすることができる。従って、プラズマ発生領域内のプラズマの収集効率をさらに高めることができる。同様に、プラズマ処理領域に近くなるに従い、管状部材の管径が大きくなるように構成している。このように構成してあるので、プラズマ内の低速電子が磁場発散力によりプラズマ処理領域の側に押し出されやすくなる。

【0047】また、管状部材に設けられたコイルの外側を取り巻くように、別のコイルを設けて2重コイル構造とし、これらコイルを個別に駆動制御するように構成するのが好適である。

【0048】このように構成すると、次のように動作させることができる。つまり、2重コイル構造を構成する一方のコイルに流すコイル電流の大きさが、時間的に変動するように、このコイルの駆動制御を行うことができる。この結果、プラズマ処理領域内のプラズマ密度の時間平均分布を均一化することができる。

【0049】また、この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、各部分移送領域の配置が同心状となるようにし、各部分移送領域に設けられたコイルのコイル電流を、実質的に同一軸状に配置された部分移送領域ごとに制御するのが良い。例えば、Siウエハのような円盤形状のものが被処理物であるとき、その円形状に合わせて各部分移送領域が同心円状となるように配置し、各部分移送領域に設けられたコイルのコイル電流は、ほぼ同一軸状に配置された部分移送領域ごとに制御する。あるいは、被処理物が四角形状の場合には、各部分移送領域の配置が同心状の四角形となるようにする。上述したようなプラズマ密度の均一化を図るためには、このような構成が好適である。

【0050】また、隣接する部分移送領域に設けられたコイルにより形成される磁場の向きが互いに逆向きとなるように、各コイルのコイル電流を制御するのが良い。このようにコイル電流の制御を行うと、隣り合ったコイルから発する磁場が互いに相殺して弱められるので、プラズマ処理領域内に設置された被処理物上にまで磁場が届かなくなる。

【0051】この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、プラズマの発生および強化に寄与する高周波の

電磁界をプラズマ処理領域に印加するための第1印加回路と、プラズマの発生および強化に寄与する高周波の電磁界をプラズマ発生領域に印加するための第2印加回路とを具えるのが良い。従って、これら第1および第2印加回路をそれぞれ独立に駆動させることができるので、プラズマ発生領域におけるプラズマの発生効率と、プラズマ処理領域におけるプラズマ処理能力とを、それぞれ独立に制御することができる。

【0052】また、この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、プラズマ発生領域にプラズマ発生ガスを導入する手段を具え、プラズマ処理領域にプロセスガスを導入する手段および被処理物を支持する手段を具えるのが良い。

【0053】また、この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、プラズマ処理領域に高周波の電磁界を印加するためのアノードおよびカソードを具えており、プラズマ移送領域との連通のための導入孔が形成されたアノードは、プラズマ移送領域と前記プラズマ処理領域との間に設けてあり、カソードはプラズマ処理領域に設けてあるのが良い。

【0054】また、この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、磁気回路を構成するコイルに流す電流により、所定のプロセス結果を達成するために分布が均一となるように、プラズマ処理領域内のプラズマを制御するのが好適である。

【0055】また、この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、導入孔は、磁場の発散に合わせて、プラズマ処理領域の側の開口が広くなるような末広がり形状としてあるのが良い。つまり、アノードの導入孔は、ラッパ状となるように構成する。この結果、プラズマの流れが管壁に妨げられないようになる。

【0056】また、この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、プラズマ発生領域にプロセスガスを導入する手段を具えるのが良い。アッシング処理の場合には、プラズマ発生領域にプラズマガス以外の例えば O_2 ガスを混入させる場合があるので、このように構成しておく为好適である。

【0057】また、この発明のプラズマ発生器において、好ましくは、プラズマ発生領域と各部分移送領域との結合部分における当該プラズマ発生領域を囲むチャンバ壁に、プラズマ移送領域との連通のための移送孔が形成されており、移送孔は、磁場の発散に合わせて、プラズマ発生領域の側の開口が広くなるような末広がり形状としてあるのが良い。つまり、移送孔は、ラッパ状となるように構成する。この結果、プラズマの流れが管壁に妨げられないようになる。

【0058】

【発明の実施の形態】以下、図を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。尚、図は、この発明が理解できる程度に、構成、大きさおよび配置関係が概略的に

示されているに過ぎない。また、以下に記載する数値や材料等の条件は単なる一例に過ぎない。従って、この発明は、この実施の形態に何ら限定されることがない。

【0059】先ず、この実施の形態のプラズマ発生器の構成につき説明する。この実施の形態のプラズマ発生器にあっては、真空チャンバ内に各処理を行う領域が画成されている。図1は、この実施の形態のプラズマ発生器の構成を示す断面図である。この実施の形態のプラズマ発生器は、真空チャンバ内にプラズマ発生領域10、プラズマ処理領域12およびプラズマ移送領域14を画成して具えている。プラズマ発生領域10は、プラズマ（図中のa領域）を発生させるために確保された領域である。また、プラズマ処理領域12は、プラズマ発生領域10で生成されたプラズマを用いて所定の被処理物の処理を行うために確保された領域である。また、プラズマ移送領域14は、プラズマ発生領域10で発生したプラズマをプラズマ処理領域12に導くためのガス経路として確保されている。この発明では、主として、このプラズマ移送領域14の構成に特色を有している。これらプラズマ発生領域10、プラズマ移送領域14およびプラズマ処理領域12は、この順序で配列している。プラズマ発生器は、プラズマ発生領域10でプラズマを生成し、このプラズマをプラズマ移送領域14を経てプラズマ処理領域12に導き、所定のプラズマ処理を行う装置である。

【0060】先ず、上述のプラズマ処理領域12の構成につき説明する。プラズマ処理領域12は、真空チャンバに囲まれた一領域であって、この内部に被処理物16を固定するための支持部材が設けられている。この支持部材の主な部分は、プラズマ処理領域12内のプラズマに電磁界を印加するための金属性のカソード18で構成されている。このカソード18の上面は絶縁処理されており、その上に被処理物16が設置される。また、カソード18の周囲は、プロテクタ20により固定および保護がなされている。また、このカソード18を冷却させるための手段（不図示）も設けられている。

【0061】そして、プラズマ処理領域12とプラズマ移送領域14との結合部分に相当するチャンバ壁が、カソード18と対をなすアノード22として設けられている。このアノード22は、電気伝導性のある金属、半導体あるいは炭素を組成とした素材等により作られた板状体である。このアノード22は、上述したカソード18に対向させて設けてあり、これらアノード22およびカソード18間にプラズマ処理領域12が形成される。アノード22とカソード18との間には、第1印加回路としての第1高周波電源24およびブロッキングコンデンサ26が順次に直列に結合されている。この第1高周波電源24によりアノード22（接地されている。）およびカソード18間に電磁界が印加されて、プラズマの発生および増強が行われる。また、上述のブロッキングコ

ンデンサ26は、DCカットのために設けられているものである。このブロッキングコンデンサ26の作用によりカソード18は負電位となり、プラズマ移送領域14から送られる電子を加速させる。

【0062】尚、上述の第1高周波電源24は、出力パワーが可変のものを用いている。一般に、この第1高周波電源24により発生させる高周波電磁界は、プラズマ処理領域12で被処理物のプロセス処理に最適なラジカルを多く発生させる周波数とする。しかしながら、被処理物のチャージアップ破壊が起こらないようにしなければならない。従って、100kHzから2MHzの範囲の周波数に設定するのが好適である。

【0063】また、アノード22の、プラズマ移送領域14との結合部分に複数の穴が導入孔27として窄孔されているとともに、プラズマ処理領域12の側に開口部分を有する複数のプロセス用ガス供給孔28が形成されている。このガス供給孔28の開口部分の位置や口径等は、被処理物のプロセス処理条件、プロセスチャンバ形状およびプロセスチャンバ排気ポンプの特性に応じて決定すればよい。上述の導入孔27は、プラズマ移送領域14との空間的な連結を図るために形成された穴である。

【0064】次に、プラズマ発生領域10につき説明する。このプラズマ発生領域10には、従来の高密度プラズマ発生機構が適用されている。このプラズマ発生領域10は、プラズマ発生チャンバ52と、プラズマ発生チャンバ52の上部を覆うチャンバ蓋40とにより囲まれている。そして、このプラズマ発生領域10には、プラズマ移送領域14が隣接して結合される。プラズマ発生領域10とプラズマ移送領域14との結合部分におけるチャンバ壁には、プラズマ移送領域14と空間的に連続的に結合させるための窄孔（移送孔32）と、プラズマ発生用ガス（主としてArガスが用いられる。）導入孔30とが形成されている。プラズマ発生用ガス導入孔30は、プラズマ発生領域10のプラズマ移送領域14とは反対側に位置する絶縁物のチャンバ蓋40の部分に形成されている。それ以外は、アルマイト処理されたアルミニウム材料で閉じられたプラズマ発生チャンバ52としてなる。プラズマ発生用ガス導入孔30の数や配置や口径は、チャンバ内のガスが均等に各移送孔32に分配されて排出されるように設計する。

【0065】また、上述のチャンバ蓋40の上部（真空チャンバの外部）にはプラズマ発生コイル42が設けられている。このプラズマ発生コイル42は、チャンバ蓋40の上部にうず巻き形状（すなわち螺旋線形状）の平面パターンをなすように延在している（尚、図1には、コイル42の断面だけを示してあり、平面形状などの図示は省略してある。）。そして、コイル42の各端部間に第2印加回路としての第2高周波電源44が接続されている。この第2高周波電源44によりコイル42に電力が

供給される。そして、このコイル42により形成される磁場がプラズマ発生用ガスを励起し、プラズマ発生領域10内にプラズマを発生させる。

【0066】尚、上述の第2高周波電源44は、第1高周波電源24と同様に出力が可変である。また、この第2高周波電源44により発生させる高周波電磁界の周波数は、例えば500kHzから13MHzの範囲の値に設定するのが好適である。高密度プラズマを発生させるための高速電子を大量に、しかもプラズマ発生領域10内で密度が均一となるように発生させるには、このような低周波の電磁界を供給できるものが好ましい。

【0067】次に、プラズマ移送領域14につき説明する。プラズマ移送領域14は、プラズマ発生領域10とプラズマ処理領域12とを互いに結合して、プラズマの移送を行うための領域である。このプラズマ移送領域14は、プラズマ発生領域10とプラズマ処理領域12との間を連通する複数の互いに分離された部分移送領域34として画成されている。この構成例では、各部分移送領域34を、管状部材36をもって実現している。管状部材36は、直線的に延在する円筒形状の隔壁であって、表面がアルマイト処理されたアルミニウムやセラミックス等の絶縁体材料により形成されている。尚、管状部材36の両端はやや広がった幅広構造をなしており、プラズマ発生領域10やプラズマ処理領域12との結合に好適な構造としてある。そして、この管状部材36の内部領域が上述の部分移送領域34となる。

【0068】よって、この構成例では、プラズマ処理領域12のアノード22に形成された導入孔27と、プラズマ発生領域10に形成された移送孔32との配置が同一となるように構成してある。そして、直線的な管状部材36により各孔間を結合し、プラズマ発生領域10およびプラズマ処理領域12間を空間的に結合させる。

【0069】尚、プラズマ発生領域10、プラズマ処理領域12およびプラズマ移送領域14をそれぞれ個別の真空チャンバにより形成し、これらを互いに結合させることによりプラズマ発生器を構成してもよい。しかし、この場合には、結合部分の増加すなわちリング（真空封止箇所）の増加による真空度の低下が問題となる。従って、好ましくは、これらプラズマ発生領域10、プラズマ移送領域14およびプラズマ処理領域12を一体構造の真空チャンバとして構成するのがよい。あるいは、プラズマ発生領域10を構成する真空チャンバの部分と各管状部材36とを一体化形成した構造としてもよい。

【0070】また、各部分移送領域34の内部に磁場を形成するための磁気回路としてプラズマ移送コイル38を具えている。このプラズマ移送コイル38は、各部分移送領域34の周囲すなわち管状部材36の外壁周囲に設けられた単数または複数のコイルにより構成される。この例では、3つのコイルを、管状部材36の延在する方向に沿って順次に配列させてある。これらコイルによ

り、プラズマ移送領域14内に磁場が形成され、この磁場がプラズマ発生領域10からプラズマ処理領域12へとプラズマ（プラズマ種）を輸送する。

【0071】＜プラズマ移送領域の第1構成＞次に、プラズマ移送領域14の構成、特に、管状部材36の形状および磁気回路の配置につき主として説明する。図2は、部分移送領域34の周辺の構成を拡大して示す要部断面図である。図示の通り、管状部材36の一端にはプラズマ発生チャンバ52が結合されており、管状部材36の他端はプラズマ処理領域12を囲むアノード22に結合されている。そして、管状部材36の内部領域すなわち部分移送領域34とプラズマ発生領域10との間、およびこの部分移送領域34とプラズマ処理領域12との間が空間的に連続的になるように構成してある。各々の結合部分には、リング54が使用されていて真空度の低下を防止する構造となっている。

【0072】また、管状部材36の周囲にプラズマ移送コイル38が設けられている。上述したように、プラズマ移送コイル38は3つのコイルで構成されている。この構成例では、プラズマ移送コイル38が第1コイル46、第2コイル48および第3コイル50により構成される。これら第1コイル46、第2コイル48および第3コイル50は、プラズマ発生領域10の側からこの順序で、管状部材36の延在方向に沿って順次に配列している。そして、各コイル46、48、50が独立に駆動できるようになっている。このように構成してあるので、第1コイル46はプラズマトラップ用、第2コイル48はプラズマ移送用、第3コイル50はプラズマ拡散用として、それぞれ機能的に分けて用いることができる。

【0073】そして、この実施の形態では、磁気回路により形成される磁場がプラズマ発生領域10およびプラズマ処理領域12に漏洩するようにし、かつこの磁場がプラズマ発生領域10およびプラズマ処理領域12で発散するように構成する。図2に破線aで示すように、磁力線は管状部材36の内部領域すなわち部分移送領域34を管状部材36の延在方向に沿って直線的に透過する。そして、部分移送領域34とプラズマ発生領域10との結合部分付近において、磁力線はラッパ状に広がっている。つまり、部分移送領域34から湧き出る磁力線がプラズマ発生領域10において発散する。また、部分移送領域34とプラズマ処理領域12との結合部分においても同様で、この部分で磁力線はラッパ状に広がるようにしてある。従って、部分移送領域34から湧き出る磁力線はプラズマ処理領域12において発散する。このような磁場は、各コイルに流すコイル電流の設定等により実現できる。

【0074】このように、部分移送領域34内に形成される磁場は、プラズマ発生領域10内のプラズマが効率良くプラズマ移送領域14内に引き込まれるように、プ

ラズマ移送領域14の上端付近において磁力線がラッパ状に広がる分布をなしている。この磁場中にトラップされたプラズマは、プラズマ移送領域14内に導かれる。このとき、チャンバ壁や管状部材の壁によりプラズマの流れが遮られないようにするため、管状部材36の開口の形状が少しラッパ状に広がるようにしてある。同様に、この管状部材36の開口部と結合するプラズマ発生チャンバ52に形成された移送孔32も、プラズマ発生領域10の側でその口径が広がるようなラッパ形状としてある。

【0075】プラズマ移送領域14を通過したプラズマは、プラズマ処理領域12の位置で磁力線に沿って拡散する。この結果、被処理物上の位置でプラズマ密度が均一となるようにすることができる。従って、上端部の構造と同様に、プラズマの流れが壁材により遮られないようにするために、管状部材36の下端の口径をラッパ状に広げてある。同様に、この管状部材36の下端に接続されるアノード22に形成された導入孔27の口径も連続的なラッパ状となるように、つまり開口が未広がり形状となるように、広げてある。このように構成してあるので、プラズマが壁部分に衝突して消滅してしまうことを防止できる（プラズマに含まれるイオンおよびラジカルは、エネルギー的に高い状態であるから、壁に衝突するとそのエネルギーが壁に取りられてエネルギーを失い、イオンやラジカルではなくなってしまう。）。従って、プラズマ発生領域10からプラズマ処理領域12へのプラズマの輸送を高効率で行うことができる。

【0076】また、この構成例の磁気回路すなわちプラズマ移送コイル38の周囲には、高透磁率材56を設けてある。この構成例では、高透磁率材56として円筒形状のミューメタル（パーマロイやスーパーパーマロイ）材を用いている。このミューメタル材は、プラズマ移送コイル38および管状部材36を覆うように設けられている。このミューメタル材が磁気シールドとして機能するので、磁力線の不要な部分への拡散を防止することができる。また、このミューメタル材により磁力線の様相を変化させることができる。例えば、上述したように、磁力線をラッパ状に発散させるには、その発散する部分で磁力線の密度を減少させればよい。従って、図2に示すように、コイル38の周囲を高透磁率材56で覆うことにより、磁力線の密度を減少させ、磁力線が発散するようになることができる。

【0077】尚、高透磁率材56は、必ずしも円筒形状のものをいなくてもよい。例えば、高透磁率材料で形成した棒状の部材を、コイル38の周りに所定数だけ配置させても同様の効果が得られる。

【0078】また、上述した発散する磁力線（磁場）を実現するには、例えば、コイル38のコイル電流が、プラズマ発生領域10およびプラズマ処理領域12の側に近づくに従い、徐々に小さくなるようにしても良い。プ

ラズマトラップ用の第1コイル46に流すコイル電流は比較的小さく設定し、プラズマ移送用の第2コイル48に流すコイル電流は比較的大きく設定し、プラズマ拡散用の第3コイル50に流すコイル電流は比較的小さく設定すれば、部分移送領域34の両端部で磁力線がラッパ状に拡散するような磁場を発生させることができる。

【0079】＜プラズマ移送領域の第2構成＞上述した磁場は、コイル38のコイル径が、プラズマ発生領域10およびプラズマ処理領域12の側に近づくに従い、徐々に大きくなるようにしても実現できる。このためには、例えば、管状部材36の管径が、この管状部材36の一部からこの管状部材36の各端部にわたり、この管状部材36の延在方向に沿って徐々に大きくなるようにする。

【0080】この別構成（第2構成）のプラズマ移送領域14につき説明する。図3は、部分移送領域34の周辺を拡大して示す要部断面図である。図3に示すように、この構成例の部分移送領域34は、プラズマ発生領域10およびプラズマ処理領域12の側でラッパ状に広がった形状となっている。具体的には、第1コイル46が設置されている位置の管径（口径）が最小となるようにし、そこから上端部および下端部に向かうにつれて管径（口径）が徐々に広がるようにしてある。このように構成してあるので、プラズマ発生領域10およびプラズマ処理領域12における磁力線（図中、破線bで示される。）の発散をより大きくすることができる。従って、プラズマの捕獲効率特性をさらに向上させることができる。また、プラズマ発生領域10からプラズマ移送領域14の側に流入するガスの量が増えるので、プラズマ処理領域12の側に低速電子が押し出されるようになる。よって、このような構成の適用により、プラズマ処理領域12内に流入されるイオンおよびラジカルの密度比を適正化することができる。

【0081】＜プラズマ移送領域の第3構成＞さらに、別構成のプラズマ移送領域14につき説明する。図4は、この別構成（第3構成）のプラズマ移送領域14の構成を示す図であって、部分移送領域34の周辺を拡大して示す要部断面図である。この構成例の場合、第3コイル50を複合コイル構造としている。つまり、管状部材36に設けられたコイル50aの外側を取り巻くように、別のコイル50bを設けて2重コイル構造とし、これらコイル50aおよび50bを個別に駆動制御する。そして、2重コイル構造を構成する一方のコイル50bに流すコイル電流の大きさが、時間的に変動するように、このコイル50bの駆動制御を行う。

【0082】このように、コイル50bに流すコイル電流の電流変調を行うことにより、プラズマ処理領域12内のプラズマ密度分布を時間的に平均して、均一化することができる。つまり、プラズマ処理領域12内のプラズマ密度分布は、プラズマ移送領域14の中心部と壁部

とはどうしても異なってしまふ。従って、この分布の偏りを解消するために、コイル電流を大きくしたり小さくしたりする。これにより、一定時間内に通過するプラズマの数を、中心部では少なくし、壁部では多くするといったことができるようになる。従って、この構成のプラズマ移送領域14では、時間的にプラズマ分布が平均化されるので、プラズマ処理領域12内のプラズマ密度を実質的に均一にすることができる。

【0083】尚、2重コイル構造を構成する内側のコイル50aのコイル電流の大きさを時間的に変動させる駆動を行ってもよい。また、コイルの駆動方式は、例えばサイン波的にコイル電流が変動するように行えばよいが、これに限ることはない。

【0084】また、各部分移送領域34の配置を工夫することにより、プラズマ密度の均一性をさらに高めることができる。図5は、部分移送領域34の配置例を示す平面図である。図5に示すように、Siウエハのごとく被処理物がほぼ円形なので、各部分移送領域34の配置が同心円状となるようにし、各部分移送領域34に設けられたコイル38のコイル電流を、同一円周上に沿って配置された部分移送領域34ごとに制御する。このように構成することで、プラズマ処理領域12内のプラズマ密度の均一性を高めることができる。従って、被処理物上でのプラズマ密度を均一化することができる。

【0085】また、隣接する部分移送領域34に設けられたコイル38により形成される磁場の向きが互いに逆向きとなるように、各コイル38のコイル電流を制御するのが良い。このように構成すると、隣接するコイル38の各々で発生した磁場が互いに相殺されるので、プラズマ処理領域12内に設けられた被処理物上にまで磁場が及ばなくなる。

【0086】＜プラズマ発生器の動作および使用方法＞次に、以上説明した構成のプラズマ発生器を使用するに当たり、その方法および動作につき、詳細に説明する。尚、この説明に当たり、図6に示すプラズマ発生器の全体像を参照して説明する。この図6は、図1を参照して説明したプラズマ発生器を真空チャンバに装着した様子を示す断面図である。

【0087】先ず、プラズマ処理領域12はプロセスチャンバ58により囲まれている。このプラズマ処理領域12内に設けられた被処理物や支持部材等はベローズ60を介して被処理物リフトモータ62に結合されている。このリフトモータ62は、被処理物をカソードに移動するとき用いる。また、プロセスチャンバ58の下方部にはプロセスガス排気用ターボポンプ64が取り付けられている。このプロセスガス排気用ターボポンプ64とプロセスチャンバ58との間は、プロセスガス流量制御弁66を介して結合されている。この流量制御弁66により、プロセスチャンバ58内におけるプロセスガスの圧力が制御される。

【0088】真空チャンバは、すべてが装着されると密封される。そして、真空ポンプ64を作動させる。そして、プラズマ発生用ガス導入孔30からプラズマ発生ガスを供給し、また、プロセス用ガス供給孔28から処理ガスを適宜に供給する。このようにして、カソード18上に設置された被処理物16に対するプラズマ処理の準備が整う。

【0089】次に、第2高周波電源44を作動させると、プラズマ発生コイル42により高周波の電磁界がプラズマ発生領域10内に印加される。そして、この高周波電磁界によりプラズマ発生ガス中に誘導電流が誘起される。この誘導電流がプラズマ発生領域10内のガスを電離して、高密度プラズマを生成する。プラズマ発生領域10内の電子は、プラズマ発生ガスの電離エネルギー（Arガスを使用した場合は20～30eV）以上の高速電子を多数含んでいる（図9参照）。従って、高密度プラズマほど、イオン化されるガス分子（あるいは原子）の数が多くなる。

【0090】次に、磁気回路を構成するコイル38に電流を流す。上述の高速電子は、このコイル38によりプラズマ移送領域14内に形成される磁場によってトラップされ、プラズマ移送領域14内に引き込まれる。このコイル38の発生磁界が強いほど、高い速度の電子を引き込むことができる。このコイル38を構成する第1コイル46、第2コイル48および第3コイル50には、それぞれ第1コイル電源68、第2コイル電源70および第3コイル電源72により個別に電力が供給される。

【0091】さらに、コイル38の発する磁界が強くなると、プラズマ移送領域14中の最も磁界が強い場所でミラー効果起きる。そして、低いエネルギーの電子（低速電子）は、この部分で跳ね返されてしまい、プラズマ処理領域12の側にはあまり輸送されなくなる。電子は、プラズマ移送領域14内のプラズマの流れに沿った方向（磁力線の延在方向）の成分が、その流れに垂直な方向の成分に比べて十分大きければ、ミラー条件をおおむねクリアできる。この引き込みが最大となるように、第1コイル46のコイル電流を設定すると良い。

【0092】また、第2コイル48のコイル電流は、この第2コイル48の位置の管状部材36の管径が、このコイル磁場とここを通過する電子の速度で決まるラモア半径とがだいたい一致するように決めると良い。

【0093】そして、第3コイル50のコイル電流は、第2コイル48のコイル磁界がプラズマ処理領域12で急速に拡散するように決めると良い。

【0094】さらに、部分移送領域34に設けられたコイル38で形成される磁界の方向が同一となるように、各コイル46～50を駆動する。また、上述したように、隣接するコイル38で発生させる磁場が互いに逆向きとなるようよう駆動する。この結果、磁場が相殺され、被処理物16上にまで磁場が及ばなくなる。

【0095】また、第1高周波電源24を作動させると、プラズマ処理領域12のアノード22およびカソード18間に高周波電磁界が発生する。この電磁界により形成されるシース電圧によって電子が加速される。通常、加速された電子は本来ならプロセスガスと衝突して、このプラズマ処理領域12内のプラズマ密度を高める。しかし、この構成のプラズマ発生器の場合には低ガス圧のために、電離に必要な電子の平均自由行程と電極間距離とがほぼ等しくなる。従って、この第1高周波電源24は、電離度を維持する程度の効果しか生まない。

【0096】一方、バイアスパワーをカソード18およびアノード22間に印加すると、アノード22およびカソード18間にはバイアス電流が流れる。この電流中の電子は次のように振る舞う。すなわち、カソード18を出た電子は、カソードドロップと呼ばれるプラズマおよびカソード18間の電位差によって加速されて、プラズマ内に入射する。また、バイアス電源（第1高周波電源24）に接続されたブロッキングコンデンサ26の作用によりカソード18の電位は負となり、この負電位が電子を加速させる。この電位差は、アノード22およびカソード18の電極構造が不変であれば、プラズマのインピーダンスに依存する。

【0097】そして、プラズマが高密度になればなるほど、被処理物に入射するイオン電流は増加する。その結果、バイアス電源（第1高周波電源24）から見たプラズマのインピーダンスはプラズマ密度が低いときに比べて小さくなる。従って、カソード18から放出された電子は、低ガス圧動作ではカソードドロップの領域でガスを電離させるためのエネルギーをほとんど受け取れずにプラズマ内に入射してしまう。しかし、これによって得られたエネルギーはラジカルを作り出すには十分なエネルギーである。

【0098】一般的に、プロセスガス特に分子をクラッキングあるいは重合したりするための電子の平均自由行程は比較的小さい。従って、第1高周波電源24は、本発明で期待されるラジカルあるいはプレカーサを形成するという働きを十分に果たす。結果として、プロセス処理に必要なラジカルあるいはプレカーサの形成を支配的に制御できるようになる。

【0099】以上説明したように、プラズマ処理領域12のラジカル（あるいはプレカーサ）は、第1高周波電源24の電力制御により適当な量だけ形成される。また、プラズマ発生領域10で形成される高密度プラズマは、磁気回路（コイル38）によりプラズマ移送領域14を通してプラズマ処理領域12に引き出される。従って、プラズマ移送領域14のコイル電流を制御するか、第2高周波電源44の電力を制御するかにより、プラズマ処理領域10のイオンとラジカル（あるいはプレカーサ）との比率を制御することができる。

【0100】例えば、異方性の大きいエッチングを行う

場合（いわゆるディープコンタクトエッチングの場合）、磁気回路を構成するコイル電流を増やすとプラズマ処理領域12のイオン密度が高密度ではあるが減少する。よって、十分なイオン加速電圧が発生し、最適なエッチング条件が実現される。

【0101】このように、プロセス処理空間のプラズマ条件すなわちラジカルとイオンとの比率を可変に制御でき、その可変領域が他のプラズマ発生機構より広範であるから、本発明のプラズマ発生器は、種々のプロセス処理条件に対応できる。

【0102】また、このプラズマ発生器では、プラズマ処理領域12の横断面積がプラズマ移送領域14の横断面積の総和よりも十分に大きい（プラズマ移送領域14の横断面積の総和／プラズマ処理領域12の横断面積＝0.1～0.4である。）。このため、プラズマ発生領域10の圧力を大きくすることができる。従って、プロセスガスがプラズマ移送領域14を逆送してプラズマ発生領域10に入ることはほとんど無いが、万一入ったとしても、プロセスガスより多い流量のプラズマ発生ガスの排出によってすぐに排気される。

【0103】次に、この実施の形態のプラズマ発生器の動作特性を、従来のTCPと対比する。図7は、プラズマ発生器の動作特性を示す棒グラフである。尚、比較対照としたTCPは一般的な従来構造のものとする。また、図8には、図7に記載された本発明の装置の動作特性値を表にして示してある。

【0104】図7（A）は、イオン電流密度について、本発明の装置と従来のTCPとを比較した結果を示す。グラフの縦軸には、イオン電流密度を[ミリアンペア/平方センチメートル]単位で取り、0[ミリアンペア/平方センチメートル]から40[ミリアンペア/平方センチメートル]までの範囲を5[ミリアンペア/平方センチメートル]ごとに目盛って示してある。この測定は、ラングミュアプローブを用いて行われた。図中、棒aで示される側がTCPの値を示し、棒bで示される側が本発明の装置の値を示す。すなわち、TCPが40[ミリアンペア/平方センチメートル]であるのに対して、本装置では10[ミリアンペア/平方センチメートル]となる。

【0105】また、図7（B）は、エッチングレートについて、本発明の装置と従来のTCPとを比較した結果を示す。グラフの縦軸には、エッチングレートを[ミクロン/分]単位で取り、0[ミクロン/分]から0.8[ミクロン/分]までの範囲を0.1[ミクロン/分]ごとに目盛って示してある。尚、エッチング対象は熱酸化膜である。図7（B）および図8に示すように、TCPでは0.5[ミクロン/分]であるのに対し、本装置では0.8[ミクロン/分]となる。

【0106】また、図7（C）は、エッチング選択比について、本発明の装置と従来のTCPとを比較した結果

である。グラフの縦軸には、選択比を、0から50の範囲までを5ごとに目盛って示してある。ここでは、SiO₂対Siの選択比を測定している。図7(C)および図8に示すように、TCPでは15であるのに対し、本装置では50となる。

【0107】

【発明の効果】以上説明したように、この発明のプラズマ発生器によれば、プラズマ発生領域内のプラズマ密度と、プラズマ処理領域内でのラジカル密度とを個別に制御することができる。また、プラズマ処理領域とプラズマ発生領域との間のガス分離が実現されるので、プラズマ発生領域にラジカル種が流入しない。この結果、プラズマ処理性能の良いプラズマ発生器が提供できる。

【0108】さらに、この発明のプラズマ発生器によれば、プラズマ発生領域のプラズマ密度を高い状態でプラズマ処理領域へ移送するために、電子を閉じ込めておくことができる。また、被処理物のプロセス処理に役立つラジカルをプラズマ処理領域でしか発生できないように制限し、イオンとラジカルとの比率を独立制御して、最適なプラズマ処理条件をプラズマ発生領域に実現することができる。しかも、プラズマ発生領域の高密度プラズマを、良好な効率および制御性をもってプラズマ処理領域の側に移送することができる。

【0109】また、アッシング処理の場合には、プラズマ発生領域にプラズマガス以外にO₂ガスを混入させてアッシング特性を改善することもできる。

【0110】また、プラズマ移送領域を空間的に適正な位置に分散配置させることにより、プラズマ処理領域内のプラズマ密度を均一なものとすることができる。従って、被処理物の大型化に十分応えることができる。

【0111】また、この発明のプラズマ発生器にあっては、プロセス処理領域内のプロセスガスがプラズマ発生領域に拡散されないようにすることができるので、プラズマ処理の妨げとなるプロセスガスの分解物が作り出されない。

【0112】さらに、この発明のプラズマ発生器によれば、プラズマ発生あるいは維持のための入力パワーを独立任意に設定することができるので、プロセス処理の制御性が向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態のプラズマ発生器の構成を示す図である。

【図2】プラズマ移送領域の第1構成を示す図である。

【図3】プラズマ移送領域の第2構成を示す図である。

【図4】プラズマ移送領域の第3構成を示す図である。

【図5】プラズマ移送領域の配置を示す図である。

【図6】プラズマ発生器の全体像を示す図である。

【図7】この発明のプラズマ発生器の動作特性を示す図である。

【図8】この発明のプラズマ発生器の動作特性を示す図である。

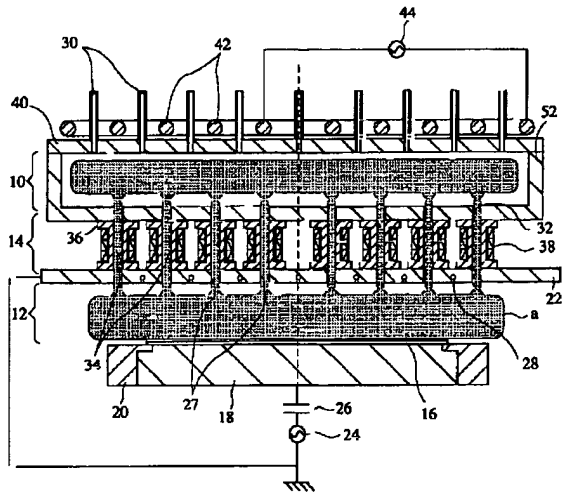
【図9】電子密度のエネルギー依存性を示す図である。

【図10】ラジカルおよびイオンの密度比とエッチングレートとの関係を示す図である。

【符号の説明】

- 10: プラズマ発生領域
- 12: プラズマ処理領域
- 14: プラズマ移送領域
- 16: 被処理物
- 18: カソード
- 20: プロテクタ
- 22: アノード
- 24: 第1高周波電源
- 26: ブロッキングコンデンサ
- 27: 導入孔
- 28: プロセス用ガス供給孔
- 30: プラズマ発生用ガス導入孔
- 32: 移送孔
- 34: 部分移送領域
- 36: 管状部材
- 38: プラズマ移送コイル
- 40: チャンバ蓋
- 42: プラズマ発生コイル
- 44: 第2高周波電源
- 46: 第1コイル
- 48: 第2コイル
- 50: 第3コイル
- 52: プラズマ発生チャンバ
- 54: オリング
- 56: 高透磁率材
- 58: プロセスチャンバ
- 60: ベローズ
- 62: 被処理物リフトモータ
- 64: プロセスガス排気用ターボポンプ
- 66: プロセスガス流量制御弁
- 68: 第1コイル電源
- 70: 第2コイル電源
- 72: 第3コイル電源

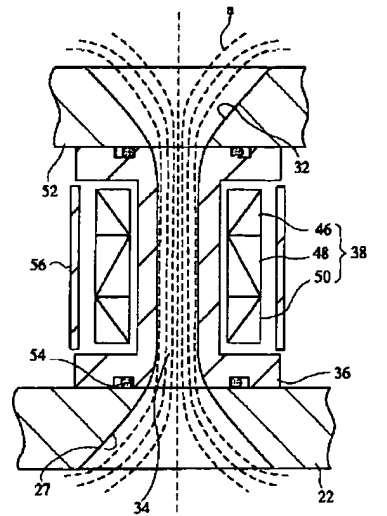
【図1】



- 10: プラズマ発生領域 12: プラズマ処理領域 14: プラズマ移送領域
 16: 被処理物 18: カソード 20: プロテクタ
 22: アノード 24: 第1高周波電源 26: ブロッキングコンデンサ
 27: 導入孔 28: プロセス用ガス供給孔 32: 移送孔
 30: プラズマ発生用ガス導入孔 36: 管状部材 38: プラズマ移送コイル
 40: チャンパ蓋 42: プラズマ発生foil 44: 第2高周波電源
 52: プラズマ発生チャンバ

プラズマ発生器の構成

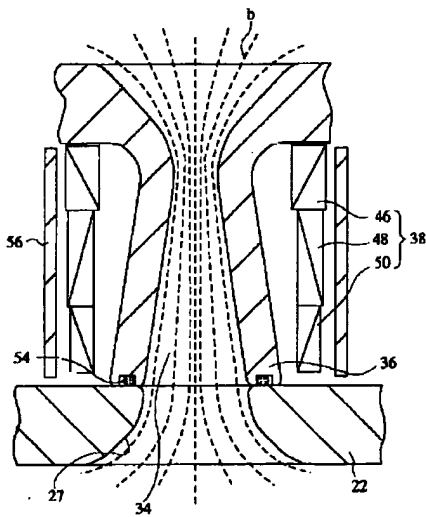
【図2】



- 46: 第1コイル 48: 第2コイル 50: 第3コイル
 54: Oリング 56: 高透磁率材

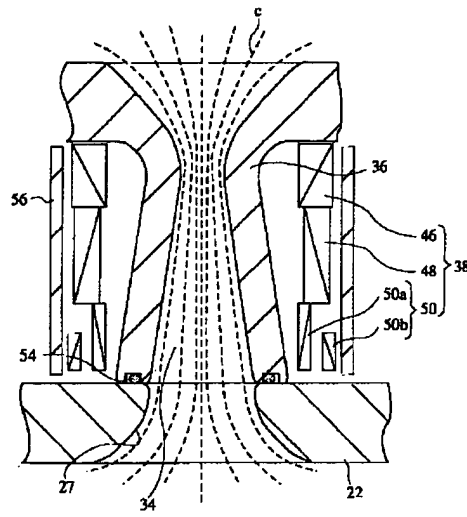
プラズマ移送領域の第1構成

【図3】



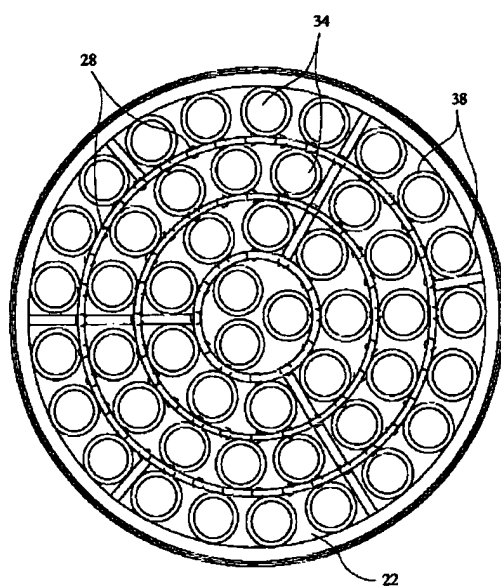
プラズマ移送領域の第2構成

【図4】



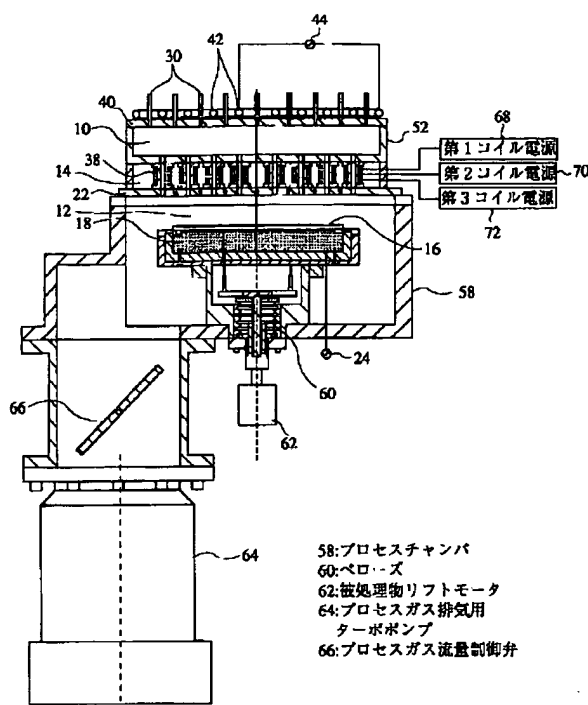
プラズマ移送領域の第3構成

【図5】



プラズマ移送領域の配置例

【図6】



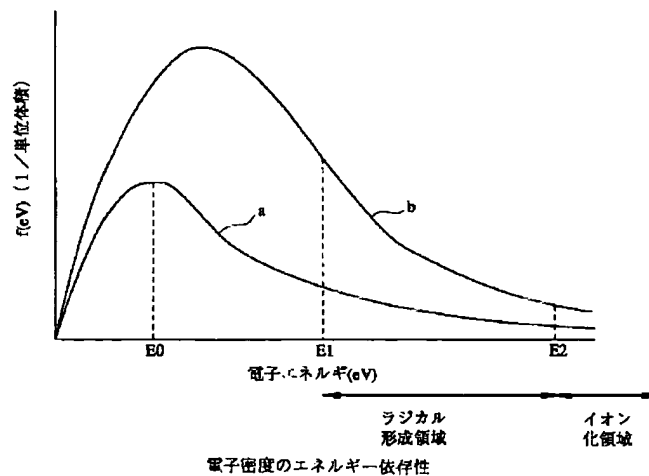
プラズマ発生器の全体像

【図8】

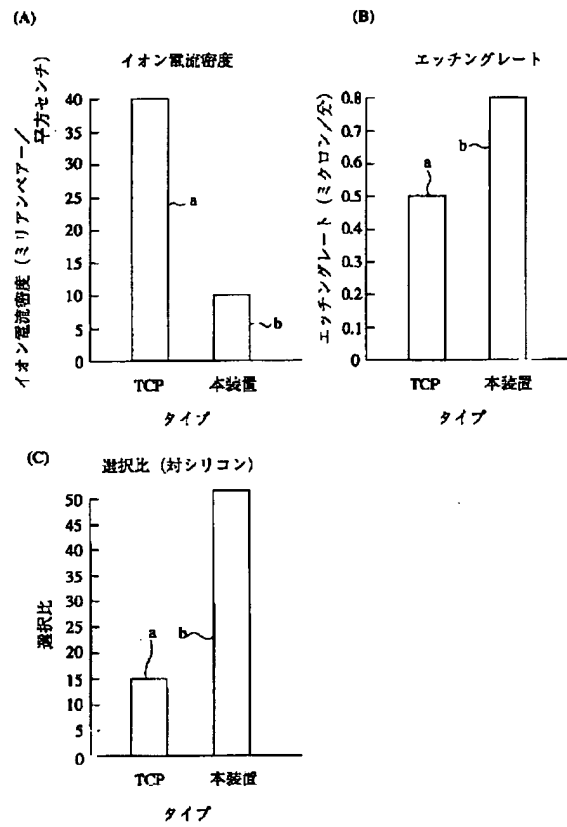
	イオン電流密度	エッチングレート	選択比 (対シリコン)
TCP	40	0.5	15
本装置	10	0.8	50

プラズマ発生器の動作特性値

【図9】

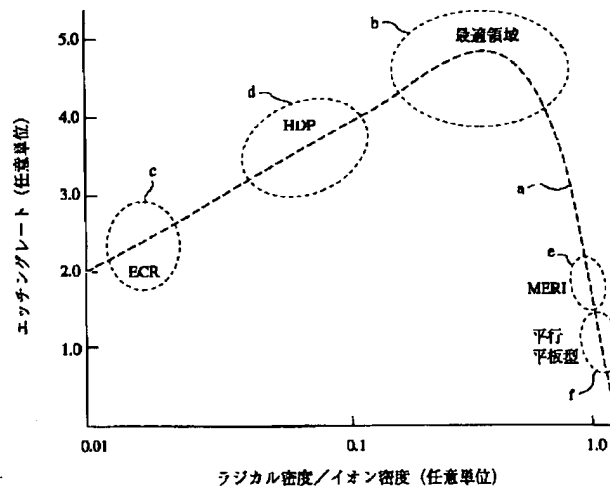


【図7】



プラズマ発生器の動作特性

【図10】



ラジカルおよびイオンの密度比とエッチングレートとの関係

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁶

H 0 1 L 21/31

識別記号

F I

H 0 1 L 21/302

B

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.